



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

MITTALAITTEEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Akselimittalaite

Matias Aho

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet

AHO MATIAS:
Mittalaitteen suunnittelu ja valmistus
Akselimittalaite

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2016

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa mittalaite koneenosien mittaamiseen. Mittalaite soveltui erityisesti akseleiden mittaamiseen. Työ sisälsi mittalaitteen mekaanisten osien suunnittelua ja valmistusta. Lisäksi työhön kuului tarvittavien antureiden ja mittauselektroniikan, sekä oikosulkumoottorin ja sopivan taajuusmuuttajan valintoja.

Työn yhtenä osana mittalaitteen käyttöä varten suunniteltiin ja ohjelmoitiin mittausohjelma National Instrumentsin LabVIEW –ympäristöllä. Mittausohjelma mahdollisti mittalaitteen automaattisen mittauksen. Mittausohjelman avulla mittaustulokset voitiin tallentaa USB-muistiin jatkokäsittelyä varten.

Valmiilla mittalaitteella pystyttiin mittaamaan akseleiden laakeripintojen kuntoa, akselien taipumia sekä nokka-akseleiden nokkaprofiileja. Mittalaite soveltui myös erilaisen hammaspyörien mittaamiseen.

Työ tarjosi mahdollisuuden soveltaa monipuolisesti insinöörikoulutuksen perustaitoja. Työn aikana saatiin suunniteltua ja valmistettua toimiva mittauslaite, jolla tehtiin lopuksi mittauksia erilaisille testikappaleille.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet

AHO MATIAS:
Designing and Manufacturing of Shaft Measuring Device

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 1 pages
May 2016

The purpose of this Bachelor's thesis was to design and produce a measuring device for measuring machine parts. The instrument was suitable especially for measuring shafts. The work included measuring device design and manufacture of mechanical parts. In addition, the work included the necessary sensors and measurement electronics, as well as an induction motor and frequency inverter.

As part of the work a measuring program was designed and programmed with National Instruments LabVIEW environment. Measuring program enables automatic measurement with measuring device, and Measurement program allows the measurement results to be stored on a USB memory for further processing.

The completed measurement instrument was able to measure the condition of shaft bearing surfaces, shaft deflections and camshaft cam profiles. The instrument was also suitable for measuring of various gears.

The work provided an opportunity to apply a wide range of basic engineering skills. The result of the thesis was a measuring device, designed and built for taking measurements of camshaft and other gears. It was tested and proved to be working as it should.

Key words: measuring device, shaft measuring, camshaft, LabVIEW, myRIO

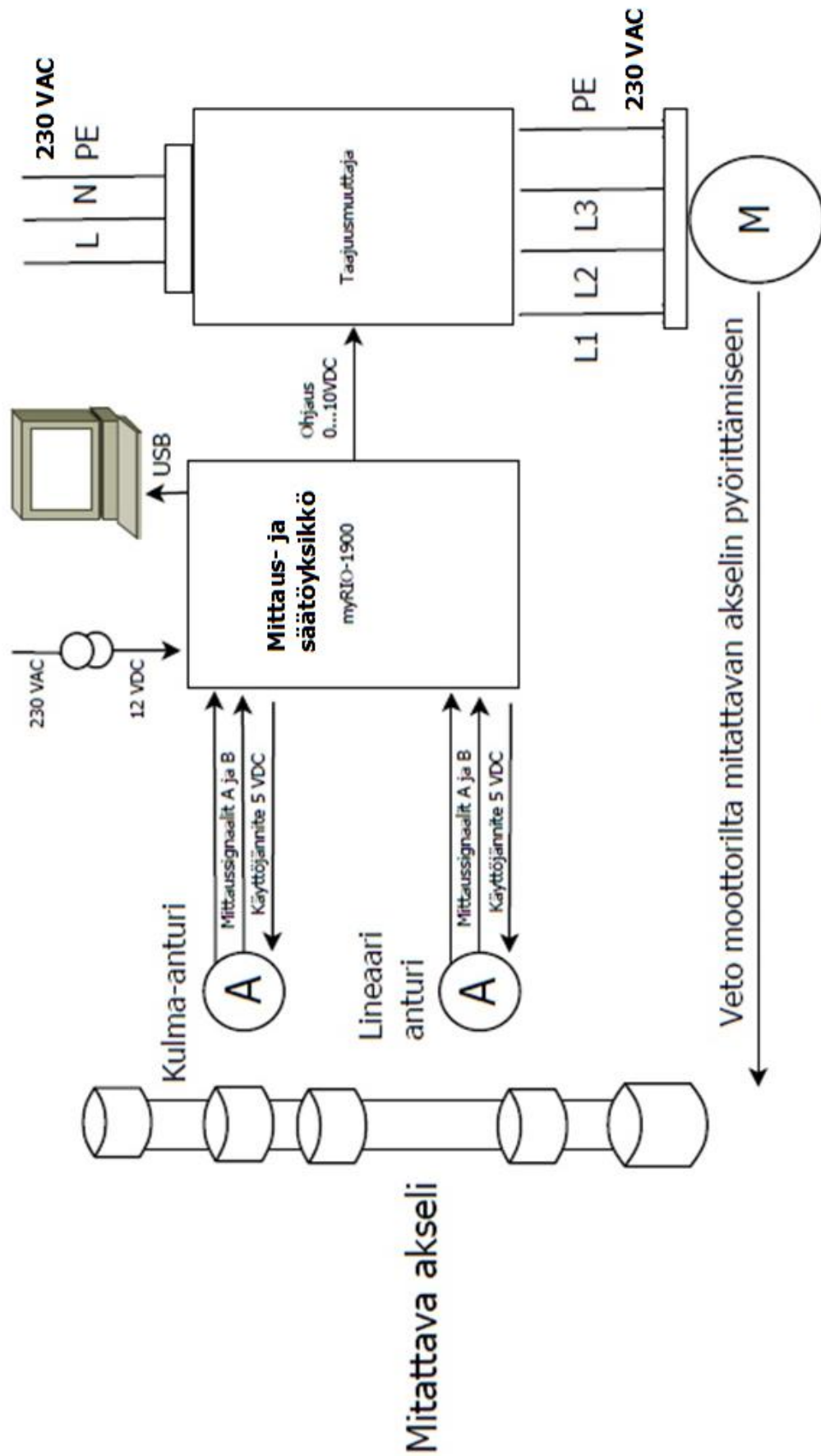
SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MITTALAITTEEN TOIMINTA	7
3	MITTALAITTEEN RAKENNE.....	8
3.1	Akselin mittaukseen muutostyöt.....	8
3.2	Akselin pyörityskoneisto	10
3.2.1	Oikosulkumoottori	10
3.2.2	Taajuusmuuttaja	12
3.3	Mittalaitteessa käytetyt anturit.....	14
3.3.1	Lineaarianturi	16
3.3.2	Kulma-anturi	18
3.4	Mittaus- ja säätöyksikkö	20
3.4.1	MyRIO:sta hyödynnetyt ominaisuudet	21
3.5	Mittausohjelma	23
3.5.1	LabVIEW	25
3.5.2	Mittausohjelma.....	25
4	MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY.....	29
5	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET	32
	Liite 1. Mittausohjelman käyttöliittymä.....	32

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli akselimittalaitteen suunnittelu ja valmistaminen. Työn aihe tuli minulta henkilökohtaisena ideana. Oma kiinnostus ottomoottoreiden kaasunvaihtoon ja nokka-akseleihin synnytti tarpeen mittalaitteelle, jolla pystyttäisiin mittaamaan moottorin nokka-akseliden nokkaprofiileja. Samanlaisella mittalaitteella pystytään mittaamaan myös muita koneen osia. Vaikka mittalaite soveltuu erityisesti erilaisille akseleille, pystytään sillä mittaamaan myös monipuolisesti erilaisia hammaspyöriä.

Työssä on esitelty mittalaitteen rakenne, toiminta ja yksityiskohtaisesti eri komponentit sekä niiden toiminta. Työ koostui mekaanisten osien suunnittelusta ja valmistuksesta, antureiden, oikosulkumoottorin, taajuusmuuttajan, sekä mittauselektroniikan valinnasta. Työssä lisäksi suunniteltiin ja toteutettiin tietokoneella käytettävä mittausohjelma, jolla suoritetaan mittaukset ja ohjataan mittalaitteen toimintaa. Mittalaitteen kaaviokuva on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Suunniteltavan mittalaitteen kaaviokuva

2 MITTALAITTEEN TOIMINTA

Päättötyönä suunniteltu ja valmistettu mittalaite on tarkoitettu käytettäväksi koneenosien mittaukseen. Mittalaitteella voidaan mitata automatisoidusti erilaisia akseleita. Mittalaitteella voidaan mitata akseleiden laakeripintojen kuntoa ja akseleiden mahdollisia taipumia. Mittalaitteella voidaan mitata myös tarkasti erilaisia nokka-akseleiden nokkaprofiileja.

Mittalaitteella voidaan mitata enintään pituudeltaan 550 mm ja halkaisijaltaan 250 mm olevia akseleita. Mittalaitteen mittatarkkuus on 1 μm akselin heiton osalta ja mittauspisteitä akselilta voidaan mitata 0,025^o välein.

Mittalaitteella mittaaminen toimii automaattisesti ja mittausta operoidaan tietokoneella mittaushjelman kautta. Mittaustulokset tallennetaan USB-muistiin csv-tiedostoiksi. Mittaustuloksia voi helposti jatkokäsitellä esimerkiksi Microsoft Excel –ohjelmalla.

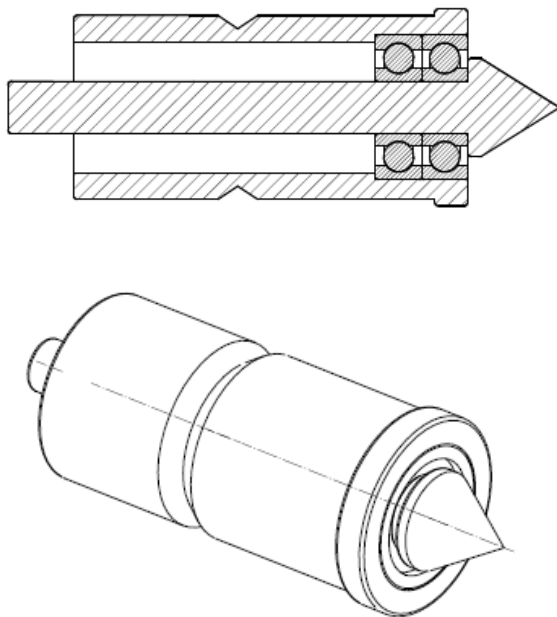
3 MITTALAITTEEN RAKENNE

3.1 Akselin mittaustelineen muutostyöt

Akselin mittaustelineessä oli valmistajan jäljiltä kiinteät metalliset kohdistuskärjet, eli metallikartiot, joiden väliin mitattava akseli asetettiin. Telineessä olevat kärjet eivät pyörineet, vaan akseli oli suunniteltu pyörimään ohuen öljypatjan päällä. Metallikärjet oli suunniteltu öljyttäviksi ennen, kuin akseli asetettiin niiden väliin.

Koska mitattavan akselin päästä oli tarkoitus mitata akselin kiertokulmaa kulma-anturin avulla, oli mittatelineen toinen kohdistuskärki korvatta erilalla toteutetulla osalla. Jotta anturilla pystyttiin mittaamaan akselin kiertokulmaa, kohdistuskärki oli suunniteltava sellaiseksi että siinä oli laakerointi ja että anturi voitiin kiinnittää pyörivään kohdistuskärkeen.

Uusi kohdistuskärki toteutettiin laakeroidulla riittävän pitkällä akselilla, joka ulottui mittatelineen kartiopukin rungosta ulos. Kulma-anturi kiinnitettiin kohdistuskärjen akseliin alumiinisella laserjoustetulla kytkimellä. Kuvassa 2 on esitetty uusi kohdistuskärki ja kuvassa 3 anturin kiinnitys kohdistuskärjen akselille.



KUVA 2. Laakeroitu kohdistuskärki



Kuva 3. Anturin kiinnitys kohdistuskärkeen



Kuva 4. Akselin mittaustelineen muutostyö valmiina ja anturi kiinnitettynä



KUVA 5. Instrumentoitu akselin mittausteline

3.2 Akselin pyörityskoneisto

Akselin pyörityskoneistoksi suunniteltiin oikosulkumoottorin ja taajuusmuuttajan yhdistelmä. Taajuusmuuttajaa ohjattiin myRIO-1900:n analogilähdöllä

Oikosulkumoottorin akselilta veto mitattavan akselin pyörittämistä varten päädyttiin toteuttamaan kumisella o-renkaalla, jotta mitattavaan akseliin ei välittyisi värinää pyörityslaitteistosta. Sopivan o-renkaan löytymisessä ilmeni hieman hankaluuksia, koska kaikkien o-renkaiden kitka pyöritettävän akselin pintaa vastaan ei ollut riittävä pyörittämään akselia. Työn loppuun mennessä ei löytynyt vielä sopivaa o-rengasta. Sopivan vetohihnan valinta jää mittalaitteen jatkokehityksen yhdeksi osa-alueeksi.

3.2.1 Oikosulkumoottori

Sähkömoottorit, mukaan lukien oikosulkumoottorit, muuttavat sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi, joka on otettavissa ulos moottorin akselilta. Oikosulkumoottori on yleisin moottorityyppi kaikissa moottorikäytöissä. (Valtanen, 700)

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Toiminta perustuu tarkemminottaen magneettikentässä olevan johdinsilmukan ja magneettikentän voimavaikutukseen. Tasomainen johdinsilmukka (käämi) sijaitsee moottorin toisessa päära-kenneosassa, staattorissa. Johdinsilmukassa kulkeva virta saa aikaan johdinsilmukan ta-sopintaa vasten kohtisuorassa olevan magneettivuon. Käämimällä moottorin staattorin kehälle kolme tällaista johdinsilmukkaa 120^0 kulmissa toisiinsa nähden ja kytkemällä käämit kolmivaiheverkkoon, saa sinimuotoinen verkkojännite aikaan sykkivän magneettivuon käämien tasopintoja vastaan kohtisuoraan. Kun verkon kaikki kolme vaihetta ovat lisäksi 120^0 vaihesiirrossa toisiinsa nähden, saa verkon kolmivaihevirta aikaan käämeissä syntyvien magneettivoiden vektorisummien resultantin, joka pyörii staattorissa. Tämä syntynyt kiertokenttä saa aikaan oikosulkumoottorin toisen päära-kenneosan, roottorin, pyörimään. Käytännössä staattorille käämitään useita kierroksia johdinta, tarkoin suunniteltuina vyyhteinä, tarkoin suunniteltuihin uriin, jotka vaikuttavat merkittävästi käytännön moottorin toimintaan. Roottori on mekaanisesti kiinni oikosulkumoottorin akselissa, jolta moottorin voima otetaan ulos. (Aura & Tonteri, 139; Hietalahti, 51-57; Valtonen, 700)

Edellä käsitellyn mukainen kolmivaihekäämitys, joka muodostaa yhden N- ja yhden S-navan, sanotaan olevan kaksinapainen (ts. yksi napaparinen). Staattorin käämivyyhdit voi olla käämitty myös 90^0 kulmaan toisiinsa nähden (nelinapainen moottori) tai 60^0 kulmaan (kuusinapainen moottori) ja niin edelleen. Moottorin magneettikenttä, jolla on vain yksi napapari, pyörii 3000 rpm, kun syöttävän verkon taajuus on 50 Hz. Samalla taajuudella nelinapaisen kenttä pyörii 1500 rpm ja kuusinapaisen kenttä pyörii 750 rpm. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus on siis riippuvainen sitä syöttävän verkon taajuudesta. Oikosulkumoottorin pyörintänopeutta voidaan lisätä kasvattamalla syöttävän verkon taajuutta ja vastaavasti pienentää laskemalla taajuutta. (Aura & Tonteri, 139; Hietalahti, 51-57; Valtonen, 700)

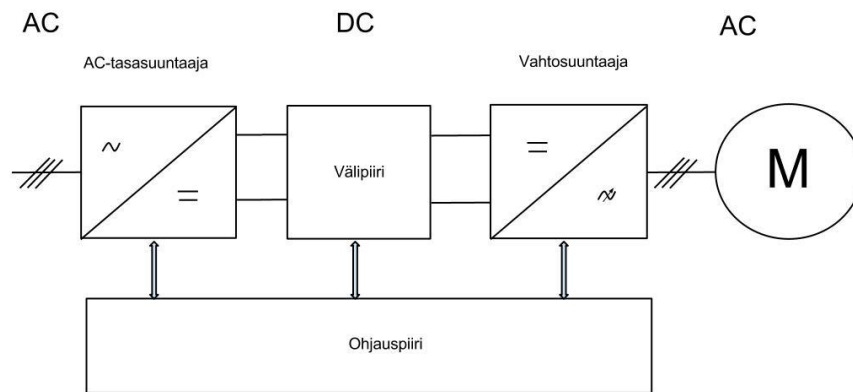
Akselin pyörityskoneistoon valittiin nelinapainen VEM 0,25 kW 230 V/400 V oikosulkumoottori. Kuvassa 6 on esitettyinä valittu moottori.



KUVA 6. VEM oikosulkumoottori

3.2.2 Taajuusmuuttaja

Oikosulkumoottorin taajuusmuuttajakäyttö on säädetty sähkömoottorikäyttö, jossa taajuusmuuttajalla ohjataan oikosulkumoottoria. Säädön tästä tilanteesta tekee se, että taajuusmuuttajalle annetaan jokin tietty moottorin saaman vaihtosähkön taajuus, jota taajuusmuuttaja säätää saamiensa mittaustulosten perusteella. Verkkosähkö tasasuunnataan ensin taajuusmuuttajassa tasavirraksi, muodostunut hieman sykkivä jännite tasataan välipiirissä olevilla kondensaattoreilla tasajännitteeksi. Vaihtosuuntaus toteutetaan taajuusmuuttajassa kuudella puolijohdekatkojalla, joiden avulla ohjattavan moottorin napoihin kytketään vuoronperään välipiirin + ja -jännitettä halutulla taajuudella. Näin on voitu muuttaa 50 Hz:n vaihtojännitteestä kolmivaiheinen vaihtojännite, jonka taajuus on säädettävissä. Kuvassa 7 on esitetty taajuusmuuttajan periaatekuva. (Hietalahti, 90)



Kuva 7. Taajuusmuuttajan periaatteellinen rakenne (LÄHDE: TAMK opetusmateriaali)

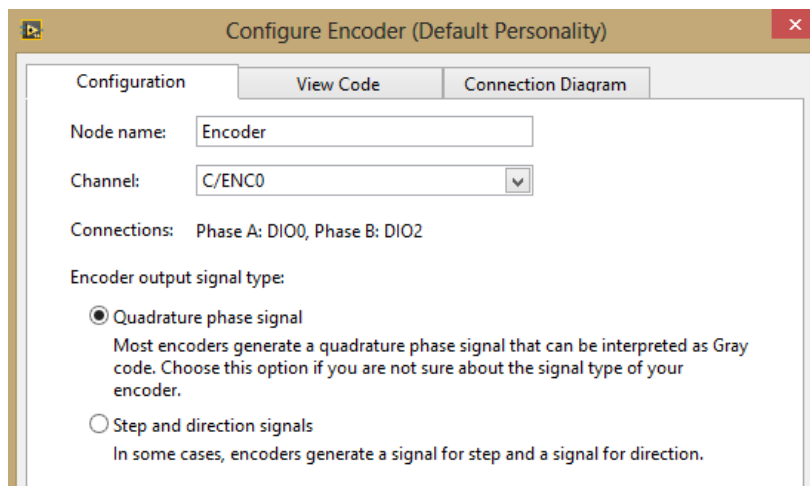
Taajuusmuuttajaksi valittiin Schneider Electricin ATV12H075M2 –taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttaja oli teholtaan 0,75 kW. Taajuusmuuttaja oli yksivaiheiseen verkkoon kytkettävä malli ja siihen oli liitettävissä kolmivaiheinen oikosulkumoottori.



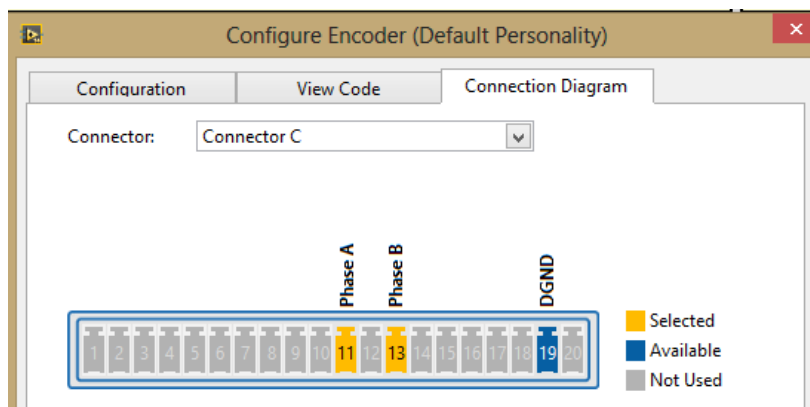
KUVA 8. Oikosulkumoottorin ohjaukseen käytetty taajuusmuuttaja

3.3 Mittalaitteessa käytetyt anturit

Mittalaitteeseen tarvittavien antureiden valinnassa oli muutamia valintakriteereitä, joiden mukaan valittiin sopivat anturit. Molemmille antureille yhteisiksi valintakriteereiksi muodostuivat antureiden käyttöjännite, sekä antureilta ulos saatava mittaussignaali. Tiedonkeruu- ja ohjainlaitteelta oli saatavissa ulos + 5 VDC jännite. Tästä johtuen työssä käytettäviksi antureiksi valittiin sellaiset anturit, jotka toimivat 5 voltin tasajännitteellä. Antureilta ulos saatavan mittaussignaalin osalta päädyttiin siihen ratkaisuun, että työssä valittiin käytettäväksi ”Quadrature phase signal”-tyyppistä signaalia tuottavia antureita. Tämän tyyppinen anturi siis tuottaa kaksi kanttiaaltoa, jotka ovat toisiinsa nähden 90° vaihesiirrossa. KUVISSA 9 ja 10 on esitetty antureiden liittäminen myRIO-1900:n ja konfigurointi LabVIEW:n kanssa.



KUVA 9. Antureiden konfigurointi LabVIEW:ssä



KUVA 10. Antureiden liittäminen myRIO-1900:aan

Mittalaitteeseen oli valittava lineaarianturi, joka soveltui nokka-akselien profiilin mittaukseen, akselien laakeripintojen mittaukseen, sekä taipuneiden akseleiden heiton mittaukseen. Nokka-akselien profiilin mittaus asetti työssä käytettävälle lineaarianturille tiukimmat valintakriteerit mittatarkkuuden osalta. Lineaarianturiksi valittiin Onosokki GS-332 -lin-aarianturi. Valitun anturin 1 μm :n mittatarkkuutta voitiin pitää riittävänä akseliprofiilien mittaukseen. Lineaarianturi on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Onosokki GS-332 lineaarianturi

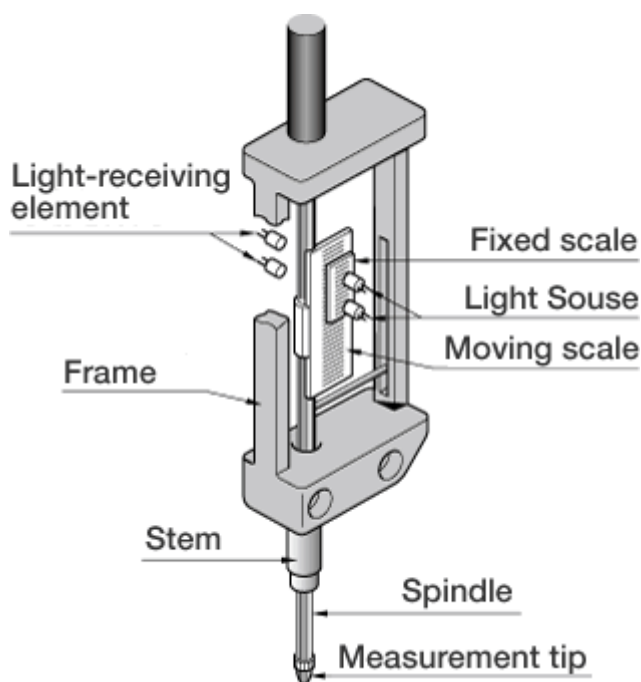
Toisen anturin tarkoituksena oli mitata kulma-asteita mitattavan akselin päästä, kun mitattavaa akselia pyöritettiin. Tälle anturille ei ollut kovin suuria tarkkuusvaatimuksia, vaan 1° tai 0,1° mittatarkkuutta voitiin pitää riittävänä. Käytettäväksi anturiksi valittiin Pepperl+Fuchs RSI58N –kulma-anturi. Anturilta kyettiin lukemaan 14 400 pulssia 360° kiertoa kohti, jolloin yksi aste pystyttiin jakamaan mittausohjelmassa 0,025°:n osiin. Kuvassa 12 on esitetty kulma-anturi.



KUVA 12. Pepperl+Fuchs RSI58N –kulma-anturi

3.3.1 Lineaarianturi

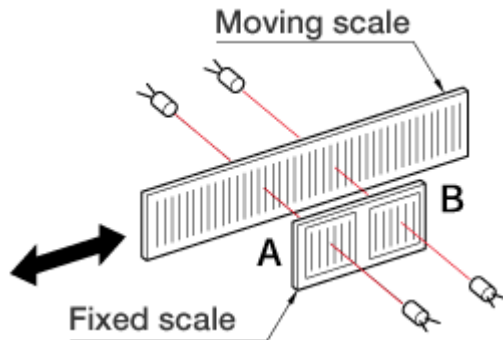
Työssä käytettiin Onosokki GS-332 –lineaarianturia. Anturin mittatarkkuus oli 1 μm ja anturin mittatikun isku salli 30 mm mittausalueen. Valitun anturin optinen toiminta ja sen hienomekaaninen rakenne mahdollistivat erittäin tarkan mittaamisen. Käytetyllä anturilla voidaan tehdä noin miljoona mittaustoistoa ennen kuin sen mittatarkkuus alkaa heikentyä. Anturin rakenne on esitetty kuvassa 13. (Onosokki)



KUVA 13. Anturin rakenne (LÄHDE: Onosokki)

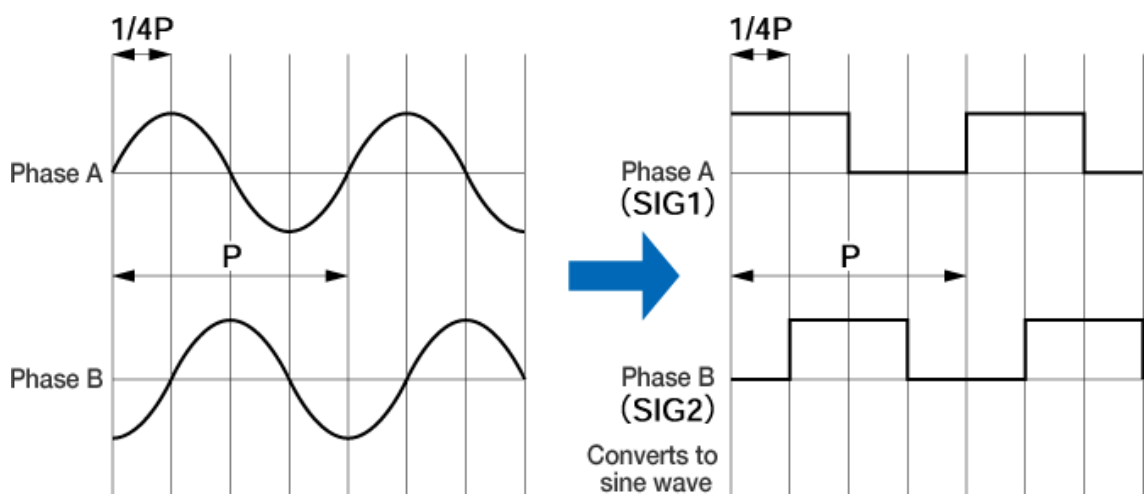
Anturi on valmistettu siten, että sen runkoon on kiinnitetty kiinteästi kaksi led-valonlähdettä ja kaksi valon vastaanotinta, sekä optinen läpäisyhila molempien valonlähteiden eteen. Anturin lineaarisesti liikkuvan mittatikun akselille on puolestaan kiinnitetty toinen optinen läpäisyhila, joka liikkuu mittatikun mukana. Molemmat läpäisyhilat ovat anturissa valonlähteen ja valon vastaanottimen välissä. Mittauksen aikana mittatikun mukana liikkuva läpäisyhila katkoo optisesti lähettimen ja vastaanottimen välistä valon kulkureittiä. Valon vastaanotin, yhdessä anturin sisäisen elektroniikan kanssa, muodostaa mittatikun liikkeessä kaksi kanttiaallon muotoista jännitesignaalia. Jännite-

signaalit ovat toisiinsa nähden 90° vaihesiirrossa. Signaalien vaihesiirron muodostaa anturin kiinteän läpäisyhilan osioiden A ja B keskinäinen etäisyys. (KUVA 14. Anturin läpäisyhilat ja valonlähettimet ja -vastaanottimet) (Onosokki)



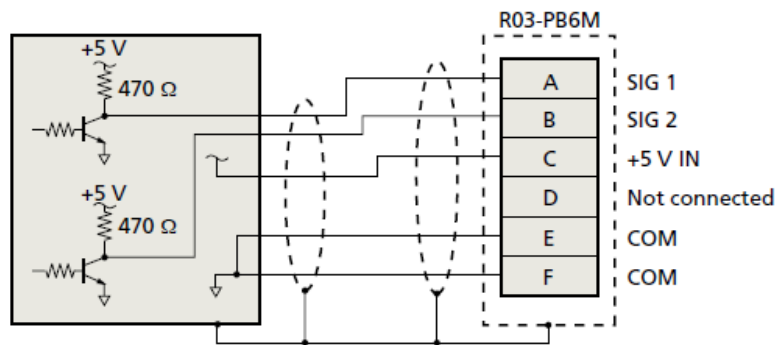
KUVA 14. Anturin läpäisyhilat, sekä valonlähettimet ja -vastaanottimet (LÄHDE: Onosokki)

Anturista ulos saatavien mittaussignaalien vaihesiirron avulla voitiin työn aikana päätellä anturin mittaustikun liikkeen suunta; sisään- tai ulosliike. Mittaussignaalin yhden mittauspulssin pulssinleveys vastasi $4\ \mu\text{m}$ matkaa anturin mittatikun liikkeessä. Kun anturilta saatuja mittaussignaaleja käsiteltiin, pystyttiin niiden keskinäistä vaihesiirtoa hyödyntämään siten, että yhden pulssinleveyden aikana mittaus kyettiin liipaisemaan 4 kertaa. Tällöin anturin mittaustarkkuudeksi saatiin $1\ \mu\text{m}$. Anturivalmistaja oli tarkoittanut mittaussignaalien vaihesiirtoa käytettävän hyödyksi juuri tällä tavalla. Kuvassa 15 on esitetty anturilta saatavat mittaussignaalit. (Onosokki)

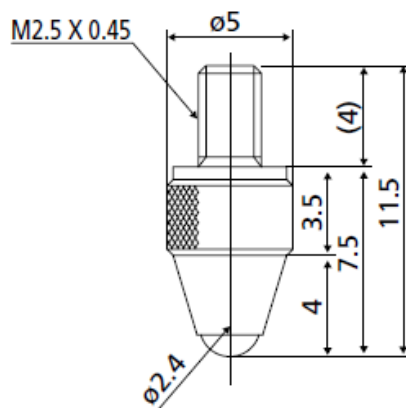


KUVA 15. Anturin tuottamat mittaussignaalit ja niiden vaihesiirto (LÄHDE: Onosokki)

Anturin käyttöjännite (5 VDC) saatiin MyRIO:sta. Anturilta ulos saatuja mittaussignaalin pulsseja (SIG 1 ja SIG 2) kerättiin MyRIO:n digitaalisten sisääntulojen avulla ja laskettiin edelleen LabVIEW-ohjelmalla. Kuvassa 16 on esiteltynä anturin kytkentä.



KUVA 16. Anturin kytkentä (LÄHDE: Onosokki)

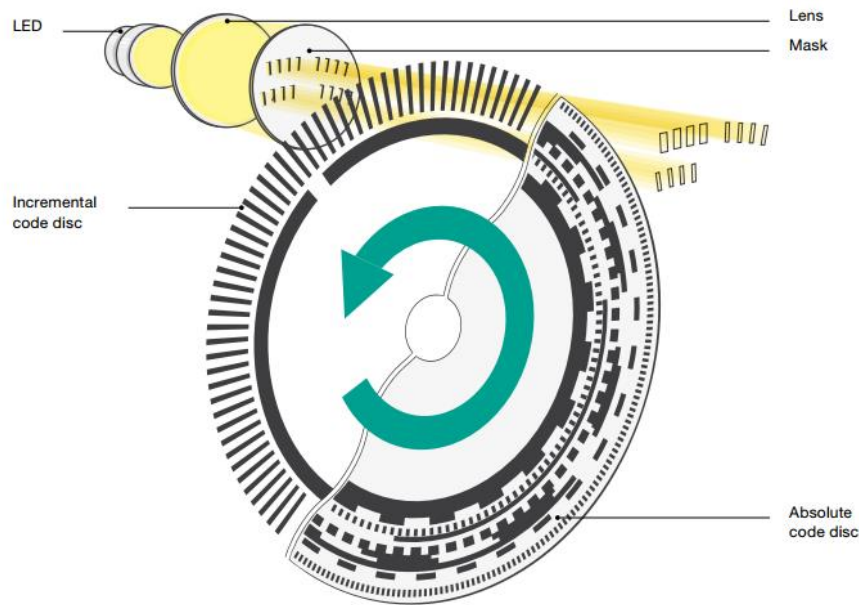


KUVA 17. Anturin mittapää (LÄHDE: Onosokki)

3.3.2 Kulma-anturi

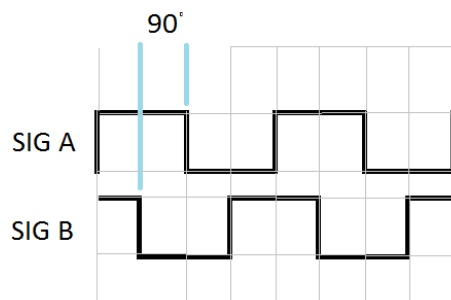
Kulma-anturina työssä käytettiin Pepperl+Fuchs RSI58N –anturia. Anturi oli tyypiltään inkrementtianturi. Inkrementtianturi tuottaa tietyn kiinteän määrän pulsseja jokaista sen akselin kierrosta kohti. Anturin mittaussignaalista kyettiin lukemaan 14400 pulssia akselin yhtä kierrosta kohti. Anturin tarkkuus oli sopiva käytettäväksi työssä sen suuren pulssilukumääränsä vuoksi.

RSI58N – kulma-anturi toimii led-valonlähteen ja vastaanottimen avulla, joiden välissä pyörii läpäisyhilakiekko. Kiekko on valmistettu siten, että anturin akselin pyöriessä se katkoo optisesti valon kulkutietä lähettimen ja vastaanottimen välillä. Valon vastaanotin on kaksiosainen ja se pystyy yhdessä anturin sisäisen elektronikan kanssa tuottamaan kaksi mittaussignaalia. Signaalit (A ja B) ovat toisiinsa nähden 90° vaihesiirrossa. Kuvassa 18 on esitetty kulma-anturin toimintaperiaate. (Pepperl Fuchs)



KUVA 18. Kulma-anturin toimintaperiaate (LÄHDE: Pepperl Fuchs)

Kulma-anturin käyttöjännite (5 VDC) saatiin MyRIO:sta. Anturin mittaussignaalit (A ja B) kerättiin MyRIO:n digitaalisten sisääntulojen avulla ja laskettiin edelleen LabVIEW-ohjelmalla. Kuvassa 19 on esitettyä anturin mittaussignaaleja.

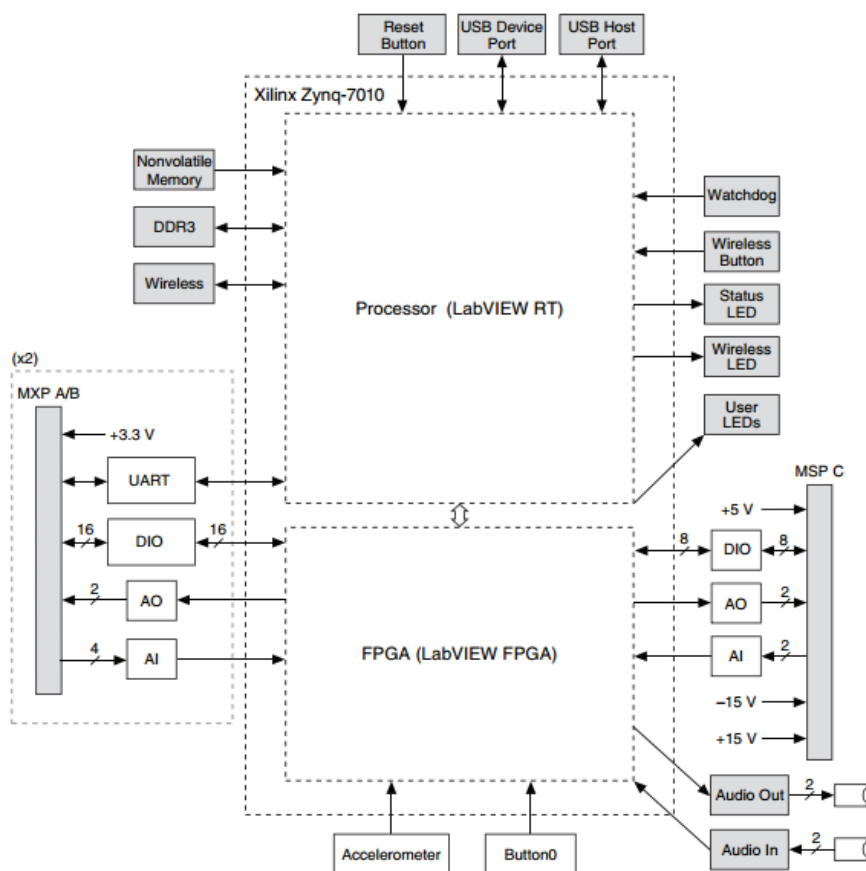


KUVA 19. Kulma-anturin mittaussignaalit

3.4 Mittaus- ja säätöyksikkö

Työssä käytettiin tiedonkeruu- ja ohjainlaitteena NI myRIO-1900 -sulautettua järjestelmää. Laitteella kerättiin työssä käytetyn kulma-anturin ja lineaarianturin mittausdataa, sekä ohjattiin taajuusmuuttajaa. Laitteeseen liitettyä massamuistia käytettiin mittaustulosten tallentamiseen jatkokäsittelyä varten.

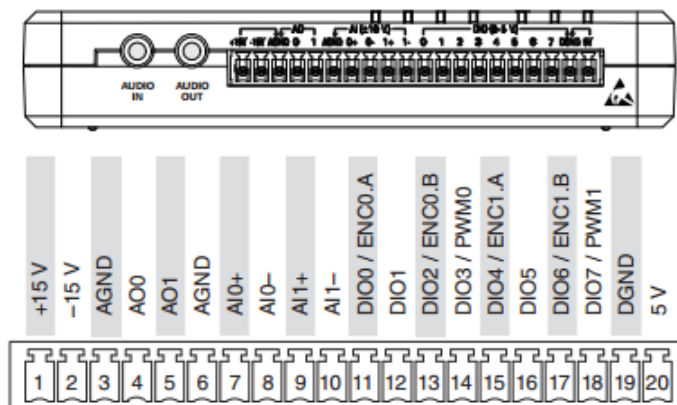
MyRIO-1900 on National Instrumentsin valmistama sulautettu järjestelmä. MyRIO-nimi on lyhenne sanoista ”*My Reconfigurable I/O*”. MyRIO sisältää muunmoassa prosessorin, muistia, FPGA-piirin, analogisisääntuloja (AI), analogilähtöjä (AO), digitaalisia sisääntuloja ja -lähtöjä (DIO), sekä teholähtöjä (+5 V ja ± 15 V). Laite voidaan liittää isäntätietokoneeseen langattoman verkkoyhteyden avulla tai käyttämällä USB-väylää. Laitteeseen on liitettävissä myös USB 2.0/FAT 32 formatted-yhteensopiva massamuisti. Kuvassa 20 on kuvattu myRIO-1900 sisäinen rakenne. Kuvassa 21 on NI myRIO-1900. Kuvassa 22 on esitetty myRIO:n työssä käytetyt kanavat.



KUVA 20. myRIO-1900 rakenne (LÄHDE: National Instruments)



KUVA 21. National Instruments myRIO-1900 (LÄHDE: National Instruments)

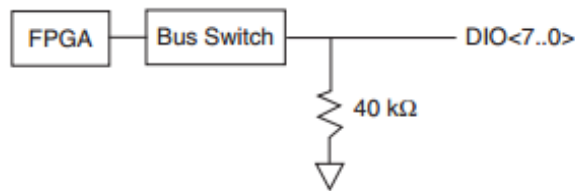


KUVA 22. myRIO-1900 MSP-liitin ja MSP-liittimen kanavat (LÄHDE: National Instruments)

3.4.1 MyRIO:sta hyödynnetyt ominaisuudet

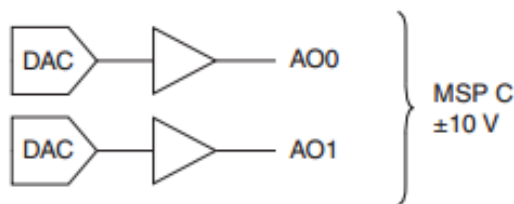
MyRIO:n digitaalisista sisääntuloista ja lähdöistä, DIO, käytettiin neljää kanavaa digitaalisina sisääntuloina, DI, työssä käytettyjen antureiden signaalien mittaukseen. Kummankin anturin mittaussignaaleja varten tarvittiin kaksi digitaalista sisääntulokanavaa. Kulma-anturin signaalijohtimet (A ja B) kytkettiin laitteen kanaviin DIO0/ENC0.A ja DIO2/ENC0.B. Lineaarianturin signaalijohtimet (A ja B) kytkettiin laitteen kanaviin DIO4/ENC1.A ja DIO6/ENC1.B. Kuvassa 23 on esitettyä myRIO:n digitaalikanava.

Molemmille antureille saatiin käyttöjännite myRIO:sta kytkemällä antureiden tehonsyötön johtimet portteihin Power Output +5 V ja DGND.



KUVA 23. myRIO-1900 digitaalikanava (LÄHDE: National Instruments)

Taajuusmuuttajan ohjaamiseen käytettiin analogilähtöä AO0. Analogilähtöön AO0 pysytettiin taajuusmuuttajan ohjausta varten generoimaan jännitesignaali väliltä 0-10 VDC. Analogilähdön AO0 jännitesignaali kytkettiin ohjauskäskyksi taajuusmuuttajan kanavaan AO1. Taajuusmuuttajan kanava AO1 oli suunniteltu juuri 0-10 VDC jänniteviestille.



KUVA 24. myRIO-1900 analogikanava (LÄHDE: National Instruments)

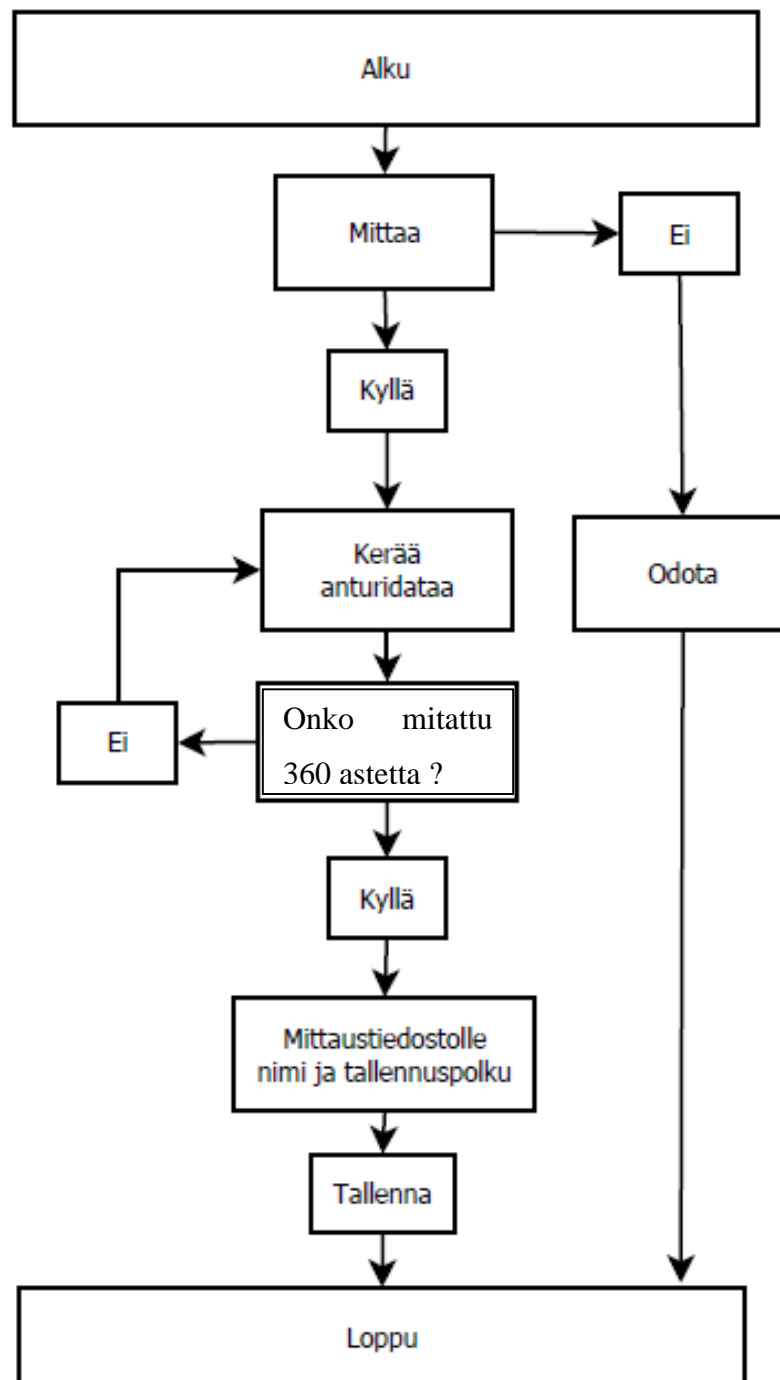
Mittaustulosten tallentamista varten laitteeseen kytkettiin USB-muisti. USB-muistina työssä käytettiin tavallista USB 2.0-yhteensopivaa muistitikkua. Muisti yhdistettiin USB host -porttiin. MyRIO kytkettiin isäntätietokoneeseen käyttäen sen USB Device Port-porttia ja USB-kaapelia.

TAULUKKO 1. myRIO-1900:sta työssä käytettyjen kanavien esittely

Signaalin nimi	Referenssipiste	Suunta, I/O	Kuvaus
+5V	DGND	Output	+5 V Teholähtö
DIO	DGND	Input tai Output	Yleiskäyttöiset digitaalikanavat 3.3 V output, 3.3 V/5 V input.
DGND	N/A	N/A	Referenssipiste digitaalikanaville ja +5 V teholähdölle
AO	AGND	Output	±10 V analogikanavat
AGND	N/A	N/A	Referenssipiste analogikanaville

3.5 Mittausohjelma

Työn osana suunniteltiin ja toteutettiin mittausohjelma, joka toimi rajapintana mittalaitteen ja mittalaitteen käyttäjän välillä. Ohjelman ohjelmointi toteutettiin National Instrumentsin LabVIEW:llä. Toteutetun ohjelman avulla pystyttiin keräämään työssä käytettyjen antureiden mittausdataa, sekä ohjaamaan säädettyä oikosulkumoottorikäyttöä. Ohjelma kykeni esittämään keräämänsä mittausdatan graafisesti, sekä tallentamaan mitatun datan .csv –tiedostoon mittausdatan jatkokäsittelyä varten. Ohjelman avulla mitaustapahtuma pystyttiin automatisoimaan kokonaan. Ohjelmoidun ohjelman vuokaavio on esitelty kuvassa 25.



KUVA 25. Mittausohjelman vuokaavio

3.5.1 LabVIEW

LabVIEW -nimi on lyhennys sanoista *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*. LabVIEW on monipuolinen ohjelmointiympäristö, joka on suunniteltu erityisesti mittaus-, ohjaus-, simulointi-, ja analysointikäyttöön. LabVIEW –ohjelmointi poikkeaa tavanomaisista tekstipohjaisista ohjelmointikielistä, kuten C-kielet ja Java, siten että ohjelmoitaessa ei kirjoiteta tekstipohjaisia ohjelmarivejä, vaan ohjelmointi tapahtuu graafisesti. Tällaisesta graafisesta ohjelmointikielestä käytetään yleisesti nimitystä ”G-kieli”.

Ohjelmointi LabVIEW:ssa tapahtuu yhdistämällä graafisia ikoneita (icon) toisiinsa graafisten johtimien avulla. Ikonit sisältävät tiettyä toiminnallisuutta ja data ohjelmassa kulkee johtimia pitkin ikonista toiseen. Näin luotuja ohjelmia kutsutaan virtuaali-instrumenteiksi (Virtual Instrument, .vi), josta ohjelman tiedostonimen päätte saa myös nimensä ”.vi”.

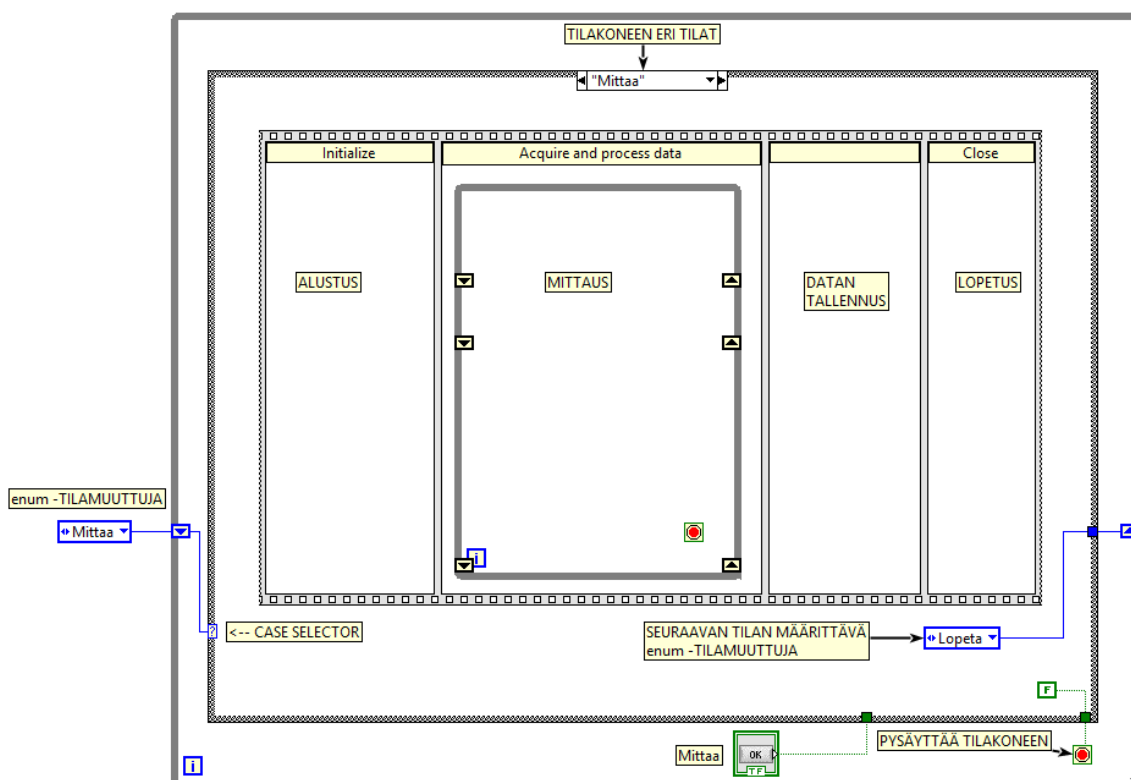
Valmis ohjelma koostuu vähintään yhdestä virtuaali-instrumentistä. Virtuaali-instrumentti puolestaan muodostuu kolmesta osasta; etupaneelistä (front panel), lohko-kaaviosta (block diagram) ja koko virtuaali-instrumenttia kuvaavasta ikonista (icon). Etupaneeli toimii ohjelmassa interaktiivisena näyttönä, josta ohjelmaan sisään voidaan antaa syötteitä. Lisäksi etupaneeliin voidaan tuoda ohjelmasta tietoa esitettäväksi. Lohkokaavio toimii puolestaan itse ohjelman lähdekoodina.

3.5.2 Mittausohjelma

Mittalaitteen käyttöä varten suunniteltu mittausohjelma toteutettiin käyttämällä mittausohjelman runkona yksinkertaista tilakonetta (Simple State Machine). Tilakone oli luonteva vaihtoehto ohjelman rungoksi, koska sillä pystyttiin toteuttamaan helposti mittalaitteen mittaustoiminnon eri vaiheet. Tilakoneeseen toteutettiin kolme eri tilaa: ”Odota”, ”Mittaa” ja ”Lopeta”. Näiden tilojen avulla pystyttiin viemään läpi mittalaitteen mittaustilanne.

Tilakoneen rakenne muodostuu sisäkkäisistä While Loopista ja Case Structuresta. While Loop pitää tilakoneen päällä, kunnes ehto tilakoneen pysäyttämiseksi täyttyy. Case

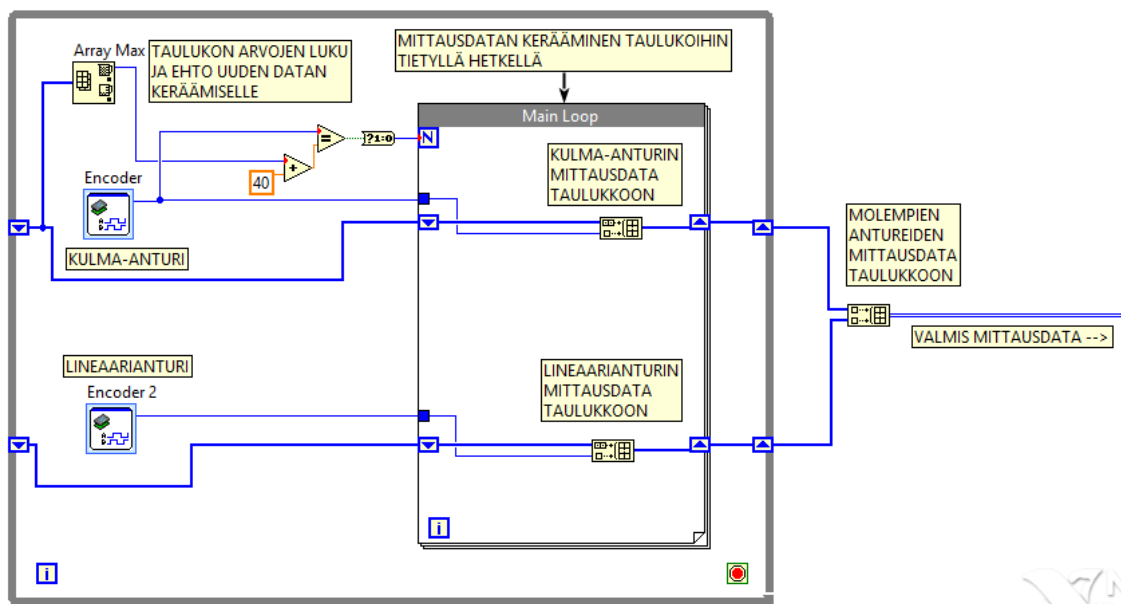
Structure sisältää tilakoneen varsinaiset tilat, joita tilakoneessa suoritetaan. Tilakoneen eri tilojen suorittamista ohjaa State Variable, eli tilamuuttuja. While Loopiin lisättyjä Shift Registeriä, eli siirtorekistereitä, käytetään tiedon siirtämiseen tilakoneen eri tilojen välillä. Siirtorekisterit toimivat ohjelman sisäisenä muistina sen suorituksen aikana. Siirtorekistereissä siirrettäviä tietoja ovat muunmoassa antureiden mittausdata ja tilamuuttujan arvo, joka on tieto seuraavaksi suoritettavasta tilakoneen tilasta. Tilamuuttujan arvoa käytetään määräämään seuraavaksi suoritettava tilakoneen tila. Kuvassa 26 on esitetty tilakoneen rakenne.



KUVA 26. Tilakoneen rakenne

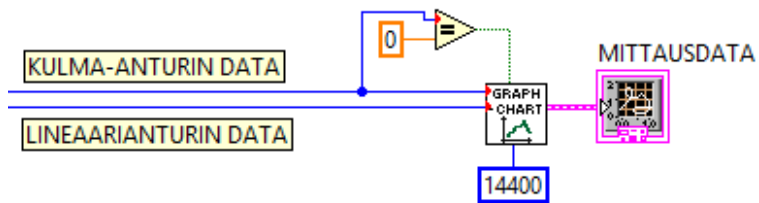
Mittausohjelman käynnistyessä tilakone alustaa itsensä tilamuuttujan arvolla ”Odota”, jolloin ohjelma jää odotustilaan ja odottaa käyttäjän syötteitä. Kun käyttäjä syöttää nimen uudelle mittaus tiedostolle ja antaa ohjelmalle mittauskäsken, tilakone siirtyy tilaan ”Mittaa”. Alustukset, mittaaminen ja mittausdatan esittäminen, mittaus tiedoston tallentaminen ja lopetus tapahtuu ”Mittaa”-tilassa automaattisesti peräkkäin. Toimintojen peräkkäinen suorittaminen tapahtuu Flat Sequence Structuressa. Tällaisessa peräkkäisrakenteessa ohjelmaa suoritetaan toiminnallinen lohko kerrallaan ja seuraavaan lohkoon siirrytään, kun edellisen lohkon suoritus on saatu valmiiksi.

Molempien antureiden mittausdataa kerätään ohjelmassa omiin taulukoihin. Datan kerääminen taulukoihin tapahtuu ohjelmarakenteessa, joka muodostuu sisäkkäisestä While Loopista ja For Loopista. Tämä mahdollistaa sen että molempien antureiden senhetkinen data kerätään taulukkoon yhtä aikaa. While Loop suoritusehtoineen määrää, että anturidataa kerätään taulukoihin niin kauan, että kulma-anturin data ilmaisee kulma-anturin akselin pyörähtäneen täyden kierroksen. For Loopissa molempien antureiden mittausdatataulukoihin lisätään anturin mittausdatan senhetkinen arvo. For Loopiin menemisen ja anturidatan taulukkoon lisäämisen ehtona on, että kulma-anturin data on muuttunut yhtä kulma-astetta vastaavan määrän kulma-anturidatan taulukon edelliseen arvoon verrattuna. Lopuksi ohjelma yhdistää molempien antureiden 1 dimension taulukot yhdeksi 2 dimension taulukoksi. Kuvassa 27 on esitetty mittausdatan kerääminen taulukoihin.

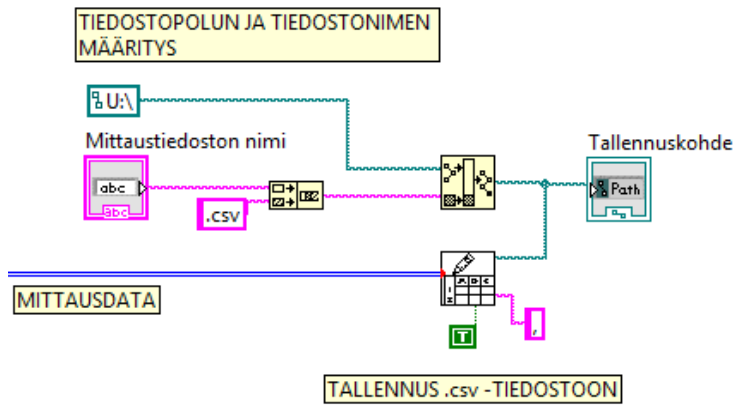


KUVA 27. Mittausdatan kerääminen taulukoihin

Ohjelma esittää mittauks tuloksen käyttäen valmiita aliohjelmia Graph As Chart.vi ja XY Graph.vi. Mittauks tuloksesta esitetään lineaarianturin mittausdata kulma-anturin mittausdatan muuttujana, eli millimetrit kulma-asteen muuttujana. Ohjelma tallentaa mittauks tuloksen käyttäjän määrittämään sijaintiin käyttäjän määrittämällä nimellä. Tallennus tapahtuu .csv-muotoon käyttäen valmista aliohjelmia Write To Spreadsheet File.vi. Kuvassa 28 ja 29 on esitettynä mittauks tuloksen esitys ja tallennus. Mittauks tilanteen lopuksi ohjelma siirtyy automaattisesti tilaan "Lopeta" ja tilakone pysähtyy.



KUVA 28. Mittausdatan esitys ohjelmassa

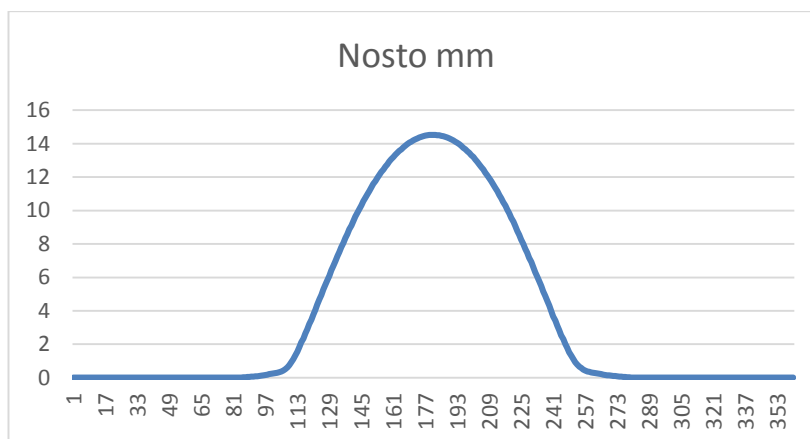


KUVA 29. Mittaustuloksen tallennus ohjelmassa

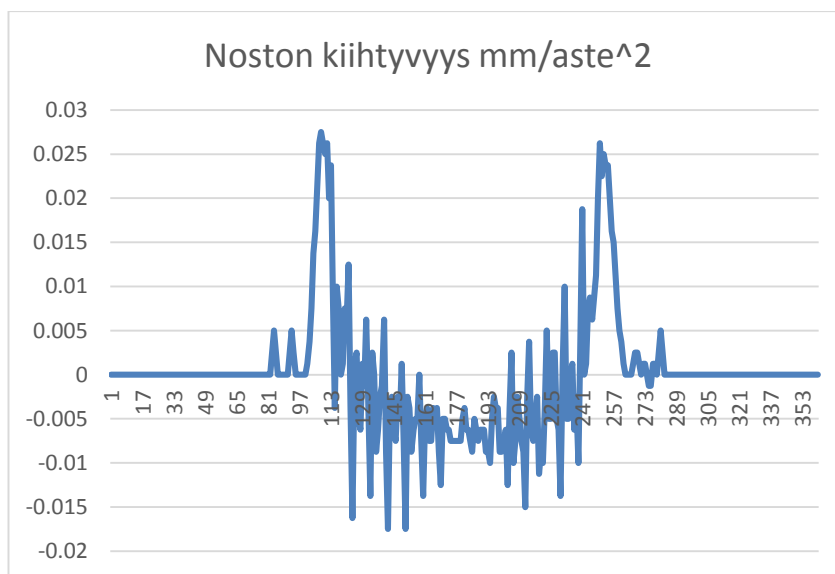
4 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

Mittalaitteen mittaustuloksien jatkokäsittely voi olla esimerkiksi laskentaa tai pelkkää mittaustulosten graafista esittämistä. Tähän osioon tehty esimerkki on nokka-akselin mittaustuloksia, jota esitetään graafisesti mittaustulosten havainnollistamiseksi.

Nokka-akselin noston mittaustulokset on lisäksi derivoitu kahdesti. Derivoimalla päästiin ensin nokka-akselin noston muutosnopeuden kuvaajaan ja derivoimalla uudelleen päästiin nokka-akselin noston kiihtyvyyden kuvaajaan. Nokka-akselin noston kiihtyvyys aiheuttaa venttikoneistossa ilmenevät voimavaikutukset. Ehjän ja tasaisen nokan profiilin kiihtyvyyssäyrän tulisi olla mahdollisimman jatkuva, ts. tasainen, jotta koneisto ei joudu suurille rasituksille. Kuvien 30 ja 31 nopeuden ja kiihtyvyyden käyristä on havaittavissa, että akseli on kulunut pahasti.



KUVA 30. Nokka-akselin nosto (mm)



KUVA 31. Nokka-akselin noston kiihtyvyys (mm/aste^2)

5 POHDINTA

Tämä työ oli alusta alkaen mielekäs ja kiinnostava, syynä tähän lienee osaltaan se että sain mahdollisuuden tehdä opinnäytetyön omasta aiheesta. Työssä pääsin soveltamaan monipuolisesti tietoja ja taitoja, joita oli kertynyt opintojen aikana. Päättötyön loppuvaiheilla minulla heräsi ajatus, että työ oli ehkä sinänsä hieman suppea, koska varsinaista laskennallista mitoitus sisältävää suunnittelua en päässyt työn aikana juurikaan tekemään. Mittausohjelman suunnittelu ja ohjelmoiminen lisäsi osaltaan tämän työn työkuormaa ja haastavuutta. Voisinkin sanoa, että suurin yksittäinen työn kokonaisuus oli mittausohjelman ohjelmoiminen ja sen saattaminen siihen kuntoon, että ohjelma toimi niin kuin olin suunnitellut. Työn aikana suurimmat ongelmat olivat juuri ohjelmointiin liittyviä. Ohjelmasta sain kuitenkin lopulta selkeän ja se toimi niin kuin olin ajatellut.

Työn aikana ehdin suunnitella ja valmistaa mittalaitteen, jolla pystyin tekemään juuri sellaisia mittauksia, joita varten laite oli suunniteltu. Toki muutamia asioita jäi vielä kehitettäväksi tulevaisuudessa. Akselin pyörityslaitteisto ei toiminut täysin odotetulla tavalla. Vetohihnana toimineet o-renkaat luistivat liikaa ja pyörítettävä akseli ei pyörinyt tasaisesti. Lisäksi oikosulkumoottori tarvitsisi tulevaisuudessa alennusvaihteen, jotta mitattavaa akselia voitaisiin pyörittää hitaammin. Tätä kirjoittaessani olen jo löytänyt 1500 kierroksen moottorin ja siihen liitettävän 1:38 alennusvaihteen. Nykyinen pyörityskoneisto tullaan päivittämään lähitulevaisuudessa.

Työ oli kaikkineen erittäin onnistunut ja työn eri vaiheiden onnistumiset ja epäonnistumiset antoivat uutta motivaatiota jatkaa työtä. Koska työ oli itse rahoitettu, oli mielekäs lopputulos että sain valmiiksi toimivan mittalaitteen.

LÄHTEET

Aura, L. & Tonteri A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY.

Hietalahti L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammer-tekniikka.

Hietalahti L. 2011. Tehoelektroniikan perusteet. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammer-tekniikka.

National Instruments. myRIO-1900. Luettu 14.4.2016.

<http://www.ni.com/pdf/manuals/376047a.pdf>

Onosokki. Linear Gauge Sensor. Luettu 11.4.2016.

https://www.onosokki.co.jp/English/hp_e/products/category/gauge_2.htm

Pepperl+Fuchs. Rotary Encoder. Luettu 11.4.2016.

http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/doct/tdoct0654m_eng.pdf

Travis, J. & Kring, J. 2006. LabVIEW for Everyone. New Jersey: Prentice Hall. s.14-31, 758-765

Valtaoja E. 2007. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis-kirjat Oy.

LIITTEET

Liite 1. Mittausohjelman käyttöliittymä

